

SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE

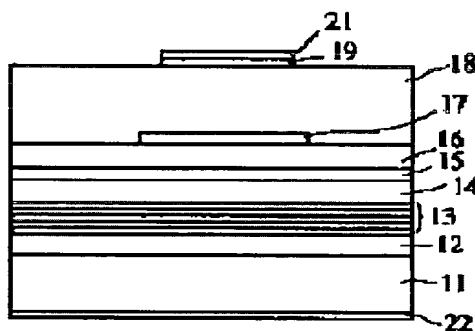
Publication number: JP7086637
Publication date: 1995-03-31
Inventor: ITAYA KAZUHIKO; SUGAWARA HIDETO; SUZUKI MARIKO
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
Classification:
- **international:** **H01L33/00; H01L33/00; (IPC1-7): H01L33/00**
- **europaean:**
Application number: JP19930225363 19930910
Priority number(s): JP19930225363 19930910

Report a data error here

Abstract of JP7086637

PURPOSE:To uniformly inject carriers even in a multiple quantum well active layer containing a large number of layers, and provide yellow and green excellent surface emission LEDs that have a sufficiently high luminous efficacy and can be simply manufactured.

CONSTITUTION:The title invention relates to a LED that consists of a n-GaAs substrate 11; a double heterostructure section formed on the substrate 11, composed of a multiplex quantum well active layer 15 sandwiched by a n-type cladding layer 14 and a p-type cladding layer 16; a p-GaAlAs current diffusion layer 18 formed on the double hetero structure section; a positive electrode 21 formed on part of the current diffusion layer 18; and a negative electrode 22 formed on the underside of the semiconductor substrate 11. The thickness of the well layer and barrier layer in the multiplex quantum well active layer 15, is gradually varied in the direction of the lamination of the active layer 15 so that the quantum levels of the well layer will be gradually increased from the electron injection side toward the hole infection side.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

ESP@CENET
AVAILABLE
COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-86637

(43) 公開日 平成7年(1995)3月31日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 33/00

識別記号

B

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平5-225363

(22) 出願日 平成5年(1993)9月10日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 板谷 和彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 菅原 秀人

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 鈴木 真理子

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

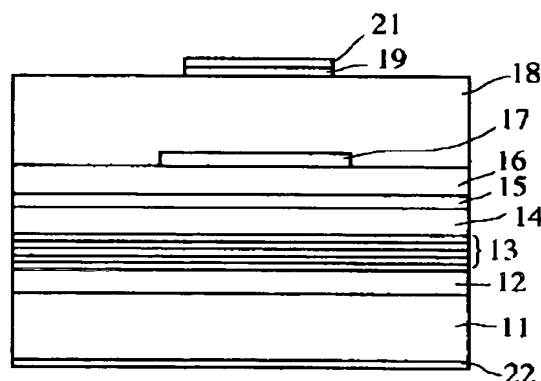
(74) 代理人 弁理士 鈴木 武彦

(54) 【発明の名称】 半導体発光装置

(57) 【要約】

【目的】 層数の多い多重量子井戸活性層においてもキャリアを均一に注入し、発光効率が十分に高く、製造方法も簡単な優れた黄色、緑色の面発光型LEDを提供すること。

【構成】 n-GaAs基板11と、この基板11上に形成された多重量子井戸活性層15をn型クラッド層14及びp型クラッド層16で挟んだダブルヘテロ構造部と、このダブルヘテロ構造部上に形成されたp-GaAlAs電流拡散層18と、この電流拡散層18の一部に形成されたp側電極21と、半導体基板11の裏面側に形成されたn側電極22とを具備したLEDにおいて、多重量子井戸活性層15の井戸層とバリア層の厚さを、電子の注入側から正孔の注入側に向かって井戸層の量子準位が大きくなるように、活性層15の積層方向に対して徐々に可変したことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】第1導電型の半導体基板と、この半導体基板上に形成された、多重量子井戸活性層を第1導電型及び第2導電型のクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部と、このダブルヘテロ構造部上に形成された第2導電型の電流拡散層と、この電流拡散層上の一部に形成された第1の電極と、前記半導体基板の裏面側に形成された第2の電極とを具備してなり、

前記多重量子井戸活性層は、電子の注入側から正孔の注入側に向かって井戸層の量子準位を大きくしてなることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項2】第1導電型の半導体基板と、この半導体基板上に形成された、活性層を第1導電型及び第2導電型のクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部と、このダブルヘテロ構造部上に形成された第2導電型の電流拡散層と、この電流拡散層上の一部に形成された第1の電極と、前記半導体基板の裏面側に形成された第2の電極とを具備してなり、

前記電流拡散層中の一部又は全体に超格子構造を形成したことを特徴とする半導体発光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、化合物半導体材料を用いた半導体発光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、屋外表示板、交通信号等への応用を目的として、緑色から黄色、橙色、赤色の発光ダイオード(LED)の開発が盛んに進められている。この中でも緑色から黄色といった、0.6μmよりも波長の短い領域では従来材料による高輝度化が困難であり、新材料による高輝度LEDの開発が望まれていた。

【0003】InGaAlP系混晶は、窒化物を除くII-V族化合物半導体混晶中で最大の直接遷移型エネルギーギャップを有し、0.5~0.6μm帯の発光素子材料として注目されている。特に、GaAsを基板とし、これに格子整合するInGaAlPによる発光部を持つpn接合型LEDは、従来のGaPやGaAsP等の間接遷移型の材料を用いたものに比べ、赤色から緑色までの高輝度の発光が可能である。高輝度のLEDを形成するには、発光効率を高めることはもとより、素子内部での光吸収や、発光部と電極の相対的位置関係により、外部への有効な光取り出しを実現することが重要である。

【0004】図8にInGaAlP発光部を有する従来のLEDの素子構造断面図を示す。図中81はn-GaAs基板であり、この基板81の主面上にn-InGaAlPクラッド層84、InGaAlP活性層85、n-InGaAlPクラッド層86からなるダブルヘテロ構造部(発光領域層)が成長形成されている。ダブルヘテロ構造部上には、p-InGaPキャップ層82及び

n-InGaAlP電流阻止層87が成長形成され、電流阻止層87は選択エッチングによって円形に加工されている。

【0005】キャップ層82及び電流阻止層87上には、p-GaAlAs電流拡散層88及びp-GaAsコンタクト層89が形成され、コンタクト層89は電流阻止層87の形状に合わせて円形に加工されている。そして、コンタクト層89上にp側電極91が形成され、基板81の裏面側にn側電極92が形成されている。なお、この素子における発光部を93で示し、電流分布を矢印で示している。

【0006】ところで、この種のLEDにおいては、次の点が問題となっている。第1に、InGaAlP混晶を用いることにより黄色領域で高輝度のLEDは実現されているが、黄色よりも短波長化を進めると発光効率が著しく低下する。これは、短波長化のためにAl組成を多くする手法を通常用いるが、化学的に活性なAlが結晶成長中に酸素を取り込み、これが結晶中に非発光センターを形成するためである。実際のLEDにおいても、黄色では1%以上の高効率を得られるものの、緑色では0.3%と低下する。これを回避する手段として、発光層下部にブラッグ反射層を設けるなどの光取り出し効率を向上させることが行われているが十分ではなく、短波長化における発光効率の改善を行うことが要請されていた。

【0007】多重量子井戸構造を発光層とすると、発光層のAl組成を多くすることなく量子準位によって短波長化するため、上記したAlが結晶成長中に酸素を取り込む問題は起きない。そのため、高効率化が期待される。しかし、LED目的の多重量子井戸構造の設計においては、井戸層数を20以上と大きくしなければならぬ(菅原他、応用物理連合講演会1993年春、III-1302)。これは、井戸層からバリア層へ注入キャリアが溢れ、バリア層において非発光再結合するためである。そのために、このような井戸層数を増やし、各井戸への注入キャリア密度をあるレベル以下に制限する必要がある。

【0008】しかしながら、注入キャリア密度の観点から設計した井戸層数の多い多重量子井戸構造においては、注入キャリア、特に正孔が均一に分布しないという大きな問題が生じた。p型クラッド層から注入された正孔は、井戸層/バリア層界面の存在により実効的な拡散長が短くなり、p側部分に局在してしまい、ダブルヘテロ構造と比較して大きな効率改善効果を得ることはできなかった。

【0009】第2に、前記図8に示したLEDにおいては、電流拡散層88において発光部で生じた光が吸収されず、なおかつ十分に電流が広がるためには、活性層85よりもバンドギャップが大きく、p型で抵抗率が十分に低い材料を選ばなくてはならない。In_{0.5}(Ga

3

1-x Al_x) (0 ≤ x ≤ 1)においては、xの値が大きくなると共に、特にp型においては抵抗率が高くなってしまい、電流拡散層88として用いることは困難である。そこで、p型でも抵抗率がn-InGaAlPクラッド層84に比べて低く、活性層85に比べてバンドギャップの大きいGaAlAsを電流拡散層88として採用してきた。

【0010】しかしながら、GaAlAsにおいても十分に電流が広がるためには、膜厚を約7 μmと厚くしなければならない。このように膜厚を厚くすると成長時間が長くなり、また成長温度の制御が難しくなるため組成の制御性が悪くなる。その結果、結晶の純度が低くなり、結果としてモフォロジーの低下、発光部からの光の吸収を生じてしまう。さらに、成長時間が長くなることは生産性の低下につながる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】このように、InGaAlP系材料を用いた従来のLEDにおいては、活性層に多重量子井戸構造を採用した場合、正孔の分布が不均一になり発光効率が著しく低下するという問題点があった。また、電流拡散層で十分に電流を広げるためには膜厚を厚くする必要があるが、このためには成長時間の増大を招き、モフォロジーの低下や生産性の低下につながるという問題があった。

【0012】本発明は上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、層数の多い多重量子井戸活性層においてもキャリアを均一に注入し、発光効率が十分に高く、製造方法も簡単な優れた面発光型の半導体発光装置を提供することにある。

【0013】また、本発明のもう一つの目的は、電流拡散層の材料及び構造を制御することにより、電流拡散層の成長時間を非常に短縮し、なおかつ光の取出し効率の向上をはかり得る半導体発光装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために本発明では、次のような構成を採用している。即ち、本発明（請求項1）は、第1導電型の半導体基板と、この半導体基板上に形成された、多重量子井戸活性層を第1導電型及び第2導電型のクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部と、このダブルヘテロ構造部上に形成された第2導電型の電流拡散層と、この電流拡散層上に一部に形成された第1の電極と、半導体基板の裏面側に形成された第2の電極とを具備した半導体発光装置において、多重量子井戸活性層は、該層の積層方向に対して、井戸層とバリア層の少なくとも一方の厚さ又は組成を可変し得るものであることを特徴とする。

【0015】また、本発明（請求項2）は、第1導電型の半導体基板と、この半導体基板上に形成された、活性層を第1導電型及び第2導電型のクラッド層で挟んだ

4

ブルヘテロ構造部と、このダブルヘテロ構造部上に形成された第2導電型の電流拡散層と、この電流拡散層上に一部に形成された第1の電極と、半導体基板の裏面側に形成された第2の電極とを具備してなり、電流拡散層中の一部又は全体に超格子構造を形成したことを特徴とする。

【0016】ここで、本発明（請求項1）の特徴は、多重量子井戸構造を発光部とする半導体発光装置において、該多重量子井戸構造が、電子の注入側から正孔の注入側に向かって、井戸層の量子準位が大きくなるように多重量子井戸構造の各パラメータを設定し、注入キャリアが均一に多重量子井戸構造部に分布するようにしたことである。パラメータとしては、井戸層厚、井戸層の組成、バリア層厚、バリア層の組成などである。他の手段としては、バリア層をn型不純物によってドーピングさせ、正孔側のフェルミレベルがn型不純物により生ずる深い準位によってピンニングさせることで正孔の注入を円滑に行わせる。

【0017】また、本発明の望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

(1) 多重量子井戸構造が電子の注入側から正孔の注入側に向かって、井戸層の量子準位が大きくなるように多重量子井戸構造の各パラメータが設定されていること。

(2) 多重量子井戸構造の一部がn型不純物によってドーピングされていること。

(3) 多重量子井戸構造がInGaAlPからなること。

【0018】本発明（請求項2）の特徴は、素子の成長時間の短縮化及び素子と空気との界面における光の取り出し効率を向上するために、薄くても十分電流が広がり、なおかつ容易に屈折率を制御できる材料及び構造を電流拡散層中に用いることである。

【0019】また、本発明の望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

(1) 電流拡散層中に構成された超格子の周期が徐々に変化していくこと。

(2) 電流拡散層を構成された超格子の周期が不規則であること。

(3) 電流拡散層中の超格子を構成する材料のバンドギャップが徐々に変化していくこと。

(4) 半導体基板がGaAs、ダブルヘテロ構造部がInGaAlP系材料からなること。

【0020】

【作用】本発明（請求項1）によれば、電子の注入側から正孔の注入側に向かって、井戸層の量子準位が大きくなるように多重量子井戸構造の各パラメータを設定することにより、層数の多い多重量子井戸構造においてもキャリアを均一に注入することができる。従って、発光効率が十分に高く、製造方法も簡単な優れた黄色、緑色の面発光型LEDを提供することができる。

【0021】本発明（請求項2）によれば、電流拡散層

中に混晶比或いは層数の周期の不規則な超格子構造を形成しているため、基板面に垂直な方向に比べ、水平な面内の抵抗率が非常に小さくなり、膜厚を薄くしても十分に電流が広がる。しかも、超格子における混晶比或いは周期を徐々に変えることにより、電流拡散層の屈折率を徐々に変えることができ、空気との界面における光の取り出し効率の向上をはかることができる。従って、高輝度の発光素子を短時間で作成することが可能となる。

【0022】

【実施例】以下、本発明の実施例につき図面を参照して説明する。なお、以下に説明する第1～第4の実施例は（請求項1）に関する実施例であり、第5の実施例は（請求項2）に関する実施例である。

（実施例1）図1は本発明の第1の実施例に係わるLEDの素子構造を示す断面図である。図中11はn-GaAs基板であり、この基板11の表面は（100）面から[011]方向に15°傾斜している。基板11上には、n-GaAsバッファ層12、n-In_{0.5}Al_{0.5}P（Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）とn-GaAs（Siドープ、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）の10対から構成されるブラッグ反射層13、n-In_{0.6}(Ga_{0.3}Al_{0.7})_{0.5}Pクラッド層14（Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）、多重量子井戸活性層15及びp-In_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})_{0.5}Pクラッド層16（Znドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）からなるダブルヘテロ接合構造が形成されている。

【0023】クラッド層16上には、n-InGaAlP電流狭窄層17（Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）が円形状に形成されており、これらの上にはp-Ga_{0.8}Al_{0.2}As（Znドープ、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）からなる電流拡散層18が形成されている。電流拡散層18上には、p-GaAsコンタクト層19（Znドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）が円形状に形成されている。そして、コンタクト層19の上面にはAu-Znからなるp側電極21が被着され、基板11の下面にはAu-Geからなるn側電極22が被着されている。なお、各層の成長にはMOCVD法を用い、12～17を1回目の成長で形成し、18、19を2回目の成長で形成した。

【0024】発光効率の高いLEDを得るためには、構造パラメータ、ここでは多重量子井戸活性層15の設計を適切に行う必要があり、以下にその設計の詳細について記述する。図2に、本実施例で採用した多重量子井戸活性層15のエネルギーバンドダイヤグラム（バリア層と井戸層の関係）を示す。このようにエネルギーバンドダイヤグラムは、非対称の形状となっている。ここで、井戸層はIn_{0.5}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.5}P、バリア層はIn_{0.6}(Ga_{0.6}Al_{0.4})_{0.5}Pとした。バリア層厚は4nmと一定であるが、井戸層厚はn-クラッド層14に最も近い側が5nmで、p-クラッド層16側に順次4nm、3、5nmと薄くなっている。

【0025】比較のために図9に、従来の多重量子井戸のエネルギーバンドダイヤグラムを示す。このように発光効率を上げる構造としては、非常に多くの層数を必要とする。このため、活性層の総厚が大きくなることと、多数のヘテロ界面が存在することにより、キャリア、特に正孔の均一な分布は著しく困難になり、p-クラッド層側の一部の部分に局在化してしまう。このため、発光効率を高くすることはできない。

【0026】これに対し図2に示すようにすれば、正孔に対してはp側からn側に向かって量子準位が徐々に深くなるように設定でき、円滑な注入が可能となる。電子側はn側の注入部分で最も深くなるが、拡散長が長いのでこのような構造でも均一な分布になる。井戸層厚が変わることで量子準位、即ち発光波長も各設定で異なるが、LEDの使用目的に関しては発光スペクトルの半値幅が広がる程度の変化であり問題はない。正孔の均一分布による発光効率改善は大きく、図9に示す従来構造の2倍の外部量子効率を得られた。

【0027】実際のLEDにおいては、緑色光に対して10cdの高輝度特性が得られた。これは、InGaAlPを活性層としたダブルヘテロ構造LEDの約5倍の明るさであった。

（実施例2）図3に、本発明の第2の実施例で採用した多重量子井戸活性層のエネルギーバンドダイヤグラムを示す。井戸層はIn_{0.5}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.5}P、バリア層はIn_{0.5}(Ga_{0.6}Al_{0.4})_{0.5}Pである。ここで、第1の実施例との違いは、井戸層厚と共にバリア層厚も変化させていることである。井戸層厚はn-クラッド層に最も近い側が5nmで、順次4nm、3nmと薄くなっており、バリア層厚もn-クラッド層に最も近い側が5nmで、順次4nm、3nmと薄くしている。

【0028】このように、バリア層厚がp-クラッド層側で薄くなっているため、さらに正孔の均一分布はし易くなる。さらに本実施例の特徴としては、各井戸層からほぼ同じ発光波長が得られることである。このため、LEDのみでなく、半導体レーザにも適用することができる。

【0029】本実施例によっても、LEDにおいては緑色に対して10cdの高輝度特性が得られた。また、レーザにおいても595nmにおいて（黄色）室温連続発振が得られた。なお、井戸層、バリア層の変調に関しては、これら膜厚だけでなく、組成を変調することでも同様な効果が得られる。しかしながら、実施例であげたように膜厚で変調する方が、実際の成長では時間を制御することで対応できるために、作製が容易である。また、バリア層のみを変調し、n-クラッド層側からp-クラッド層側に向かって徐々に薄くしていく設計も効果がある。

（実施例3）図4に、本発明の第3の実施例に採用した

多重量子井戸活性層のエネルギーバンドダイアグラムを示す。ここで述べる実施例は、ヘテロ接合を形成する際に、エネルギーバンドダイアグラムが各層の不純物準位に依存し、特に準位が深い場合に、フェルミレベルがピンニングされる効果を利用したものである。

【0030】図4(a)の場合にはバリア層はアンドープである。ここで、井戸層は $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3})_{0.5}\text{P}$ 、バリア層は $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5})_{0.5}\text{P}$ としている。井戸層とバリア層のヘテロ接合は両者の真空準位でのバンド不連続関係を反映して、伝導帯側に浅く、価電子帯側に深くつながる。この状態では電子はオーバーフローし易く、正孔は強く閉じ込められ、上記してきた高効率化のための層数の多い多重量子井戸の設計に対しては不都合である。

【0031】一方、図4(b)のようにバリア層がn型にドーブ(ここではSi)されるとDXセンターと呼ばれる深い準位がドナー準位となり、伝導帯側のフェルミ準位はピンニングされ、井戸層とバリア層のヘテロ接合は図のように伝導帯側に深く、価電子帯側に浅くなるようにシフトする。このため、多重量子井戸を形成しても正孔は均一分布がし易くなり発光効率は向上する。本実施例のようにバリア層のみをSiドーブした場合、従来構造の2倍の外部量子効率を得られた。

(実施例4) 図5に、本発明の第4の実施例に採用した多重量子井戸活性層のエネルギーバンドダイアグラムを示す。本実施例では多重量子井戸構造において、n-クラッド層側の井戸層のみにZnドーブをしている。多重量子井戸構造のために正孔は、p-クラッド層側に局在化する。このとき、正孔の枯渇するn-クラッド層側の井戸層に故意にp型ドーブをし、電子の再結合のペアを用意する設計となっている。勿論、第3の実施例と組み合わせてもよい。

【0032】本実施例においても高効率化が得られ、緑色光に対して5cdの高輝度特性が得られた。これは、 InGaAlP を活性層としたダブルヘテロ構造LEDの約3倍の明るさであった。

【0033】なお、上述した各実施例では活性層として InGaAlP を用いたが、これに限らず InGaAs を用いることもでき、更にはZnSSeなどのII-VI族化合物半導体を用いることも可能である。また、実施例ではLEDの適用例を示したが、各量子井戸の量子準位が同じになるよう配慮すれば半導体レーザにも適用ができる。

(実施例5) 薄い膜で、なおかつ十分に電流が広がるためには、電流拡散層においてp型電極からn型電極に向かう方向、即ち基板面と水平な平面内での抵抗率が、基板面に垂直な方向の抵抗率に比べて十分低ければよい。つまり、いわゆる2次元伝導体のような材料を用いればよい。同時に、発光部で生じた光が吸収されないためには、基板面に垂直な方向のバンドギャップエネルギーが

活性層のバンドギャップエネルギーより大きい必要がある。このような条件を満たす膜として、 InGaAlP 系材料を用いた超格子で構成された膜が考えられる。

【0034】しかしながら、単純に超格子で構成された膜を用いると、超格子構造の電流拡散層と空気との界面における全反射の確率が高くなり、光の取出し効率が低下してしまう。そこで本発明では、超格子構造の混晶比或いは周期を徐々に変えることによって、電流拡散層の屈折率を徐々に変え、空気との界面における光の取出し効率の向上をはかっている。

【0035】図6は本発明の第5の実施例に係わるLEDの素子構造を示す断面図である。図中31はn-GaAs基板であり、この基板31の主面上に、n- $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.5}\text{P}$ クラッド層34、 $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y)_{0.5}\text{P}$ 活性層35、p- $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)_{0.5}\text{P}$ クラッド層36、からなるダブルヘテロ構造部(発光領域層)が成長形成されている。ダブルヘテロを構成する InGaAlP 各層のAl組成x, y, zは、高い発光効率が得られるように $y \leq x, y \leq z$ に設定する。即ち、発光層となる活性層35のバンドギャップがp, nの2つのクラッド層34, 36より小さいダブルヘテロ接合が形成されている。

【0036】ダブルヘテロ構造部上には、p- $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-v}\text{Al}_v)_{0.5}\text{P}$ 及びp- $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-w}\text{Al}_w)_{0.5}\text{P}$ からなる超格子構造の電流拡散層38が成長形成されている。電流拡散層38上には、p- InGaP コンタクト層39a及びp-GaAsコンタクト層39bが成長形成され、これらのコンタクト層39は例えば円形に加工されている。そして、コンタクト層39上にAu-Znからなるp側電極41が形成され、基板31の他方の主面にAu-Geからなるn側電極42が形成されている。なお、各層の成長にはMOCVD法を用いた。

【0037】また、電流拡散層38を構成する InGaAlP 各層のAl組成w, vは発光波長に対して透明であるように設定する。発光層との組成関係はおおよそ、 $y \leq (w+v)/2$ に設定すればよい。即ち、 $y=0.5, x=z=1.0$ としたとき、電流拡散層38の構造は、順次($\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3})_{0.5}\text{P}$, 10nm/ InAlP , 10nm)が50対、($\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3})_{0.5}\text{P}$, 5nm/ InAlP , 5nm)が50対、($\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3})_{0.5}\text{P}$, 2nm/ InAlP , 2nm)が100対の積層構造となっている。この関係を図7に示す。このような層構造であれば、発光波長に対して透明である。

【0038】なお、以下ではこのようなダブルヘテロ構造を持つLEDについて説明するが、光の取り出し効率を考える上では活性層部の層構造は本質ではなく、シングルヘテロ接合構造やホモ接合構造でも同様に考えることができる。

【0039】各層のキャリア濃度は、以下に括弧内に示すように設定されている。

n-GaAs基板31 ($80\mu\text{m}$, $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)

n-InGaAlPクラッド層34 ($1\mu\text{m}$, $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)

InGaAlP活性層35 ($0.5\mu\text{m}$, アンダー)

p-InGaAlPクラッド層36 ($1\mu\text{m}$, $4 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)

p-InGaAlP電流拡散層38 ($0.28\mu\text{m}$, $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)

p-InGaPコンタクト層39a ($0.025\mu\text{m}$, $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)

p-GaAsコンタクト層39b ($0.1\mu\text{m}$, $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)

である。

【0040】上記構造が従来の構造と異なる点は、電流拡散層38をInGaAlP系材料からなる、徐々に周期を変化させた超格子構造で構成していることにあり、この構造の優位性について以下に説明する。

【0041】p-InGaAlP電流拡散層38は、InGaAlP系材料からなる超格子で構成されている。InGaAlP系材料は、Al混晶比が異なると、バンドギャップエネルギーが異なり、Al混晶比の異なるもの同士の界面にはヘテロバリアが生じ、特にp型では電流が流れにくくなる (K. Itaya et al, Jpn J. Appl. Phys. 5 A, 1919(1993))。

【0042】また、p側電極41からn側電極42に向かう方向では、超格子の周期が一定でないためにキャリアが散乱され易くなり、抵抗率が高くなる。これらのことから、基板面に水平な内面に比べ、垂直な方向の抵抗率が高くなる。この抵抗率の比率は、Al混晶比や、超格子の周期を選ぶことにより制御できる。従って、電極18から注入された電流はp-InGaAlP電流拡散層38で基板に水平な面内で十分に広がる。

【0043】また、発光層から出た光は、クラッド層36を通過した後に電流拡散層38に入射する。電流拡散層38内では屈折率が超格子構造の各周期で異なり、上面に向かって徐々に大きくなるよう設定されているため、基板面に対する光の進行方向は徐々に垂直に近づいていく。従って、クラッド層36を通過したときに、臨界角以上の入射角を持っていても、電流拡散層38を出るときに臨界角以下となり取り出される光の確率が増加する。従って、超格子にしたことで、反射率が高くなり、空気との界面で全反射により外に取り出すことができなくなった光も外に取り出すことができるようになる。また、薄いことによる損失の低減、超格子の設計によっては多重反射も可能となり、従来よりさらに光取出し効率を増加させることも可能である。

【0044】実際、上述した積層構造でp側電極41の直径Aを $200\mu\text{m}\phi$ として形成し、Ino.5 (Ga

0.5 Al,) 0.5 P活性層35のAl組成yに0.5を用いて素子を構成し、順方向に電圧を印加し電流を流したところ、 558nm に発光波長を有し、光度が 1cd を超える発光が得られた。これは、従来の素子に比べ5倍の明るさであった。

【0045】このように本実施例によれば、発光波長に対して透明で、徐々に屈折率を変化させたInGaAlP系材料からなる超格子で電流拡散層38を構成しているため、 $0.1\sim$ 数 μm 程度の薄膜であっても電極21から注入された電流は十分に広がり、なおかつ、光の取り出し効率を高くすることができる。これにより、短時間で、歩留まり良く高輝度のLEDの作成を可能にする。

【0046】なお、本発明は上述した実施例に限定されるものではない。実施例では、電流拡散層を構成するInGaAlPのAl混晶比w及びvの設定を一定としたが、発光波長に対して透明になるような組み合わせであれば電流拡散層内で徐々に光の取り出し側に向かって屈折率が高くなるように選んでもよい。また、実施例では電流拡散層の膜厚を $1.9\mu\text{m}$ としたが、この限りではなく、基板面と垂直な方向と水平面内の抵抗率比に応じた実用上都合の良い膜厚を選べばよい。また、光の取り出し効率をさらに向上させるために、電流拡散層と空気との界面に屈折率の低いGaAlAsキャップ層を形成してもよい。

【0047】また、実施例ではダブルヘテロ接合部、電流拡散層共にInGaAlP系材料を用いたが、この限りではなく、電流拡散層が発光波長に対して十分透明となるような材料系の組み合わせであればよい。発光部はSi等の一元素系から五元以上の多元系半導体であってもかまわず、電流拡散層は超格子を構成できるような材料系の組み合わせであればよく、IV族、IV-IV族、III-V族、II-VI族、カルコパイライト系等さまざまな材料系の発光素子に適用できる。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0048】

【発明の効果】以上詳述したように本発明（請求項1）によれば、多重量子井戸活性層を用いた半導体発光装置において、電子の注入側から正孔の注入側に向かって、井戸層の量子準位が大きくなるように多重量子井戸構造の各パラメータを設定することにより、層数の多い多重量子井戸活性層においてもキャリアを均一に注入し、発光効率が十分に高く、製造方法も簡単な優れた面発光型の半導体発光装置を実現することが可能となる。

【0049】また、本発明（請求項2）によれば、電流拡散層中に混晶比或いは層数の周期の不規則な超格子構造を形成することにより、膜厚を薄くしても十分に電流が広がることができ、しかも空気との界面における光の取り出し効率の向上をはかることができる。従って、結晶成長時間の短縮化により生産性の高い高輝度の半導体

11

発光装置を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例に係わるLEDの素子構造を示す断面図。

【図2】第1の実施例で採用した多重量子井戸活性層のエネルギーバンドダイヤグラムを示す模式図。

【図3】第2の実施例で採用した多重量子井戸活性層のエネルギーバンドダイヤグラムを示す模式図。

【図4】第3の実施例で採用した多重量子井戸活性層のエネルギーバンドダイヤグラムを示す模式図。

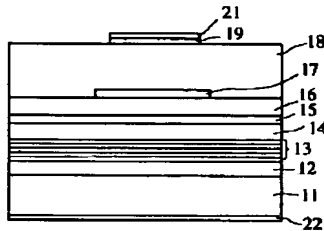
【図5】第4の実施例で採用した多重量子井戸活性層のエネルギーバンドダイヤグラムを示す模式図。

【図6】第5の実施例に係わるLEDの素子構造を示す断面図。

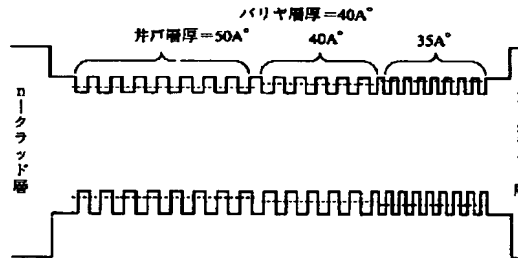
【図7】第5の実施例で採用した電流拡散層のエネルギーバンドダイヤグラムを示す模式図。

【図8】InGaAlP発光部を有する従来のLEDの素子構造を示す断面図。

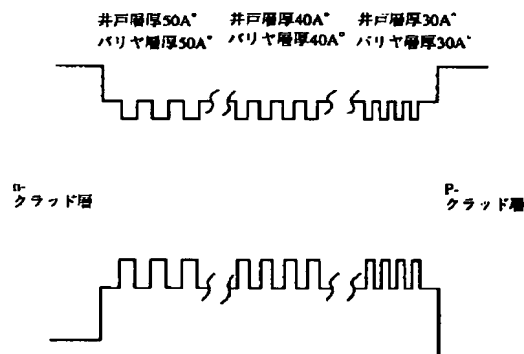
【図1】



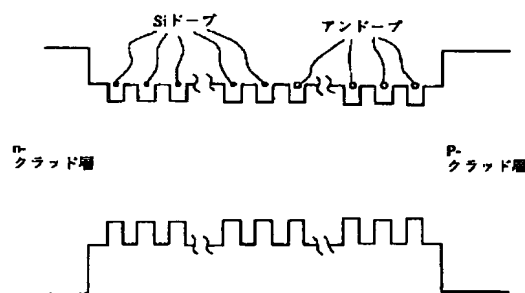
【図2】



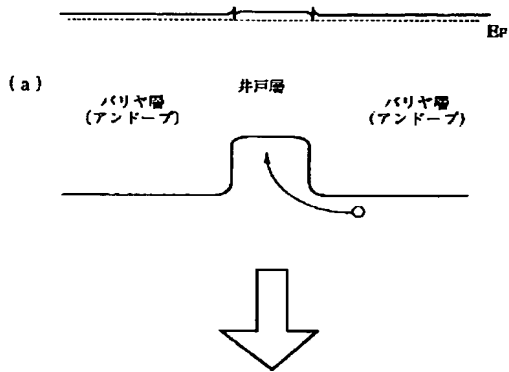
【図3】



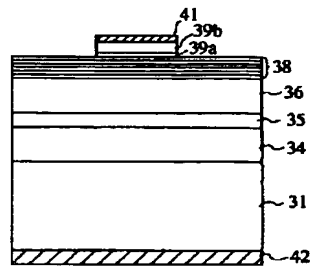
【図5】



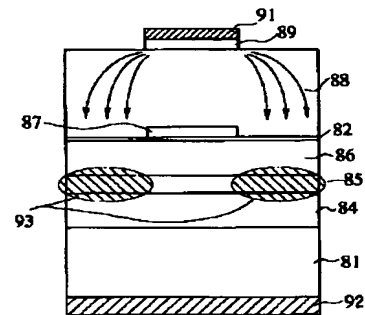
【図4】



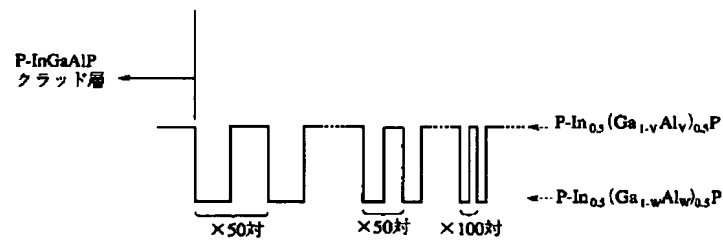
【図6】



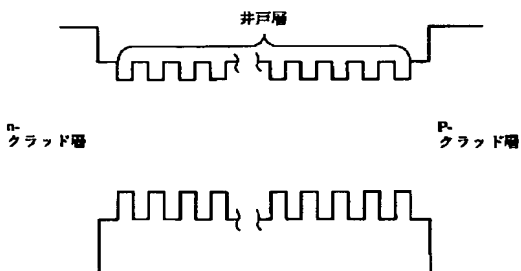
【図8】



【図7】



【図9】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.